

УДК 664.8 + 634.11

## Влияние технологии экстракции на антиоксидантную активность черноплодной рябины *Arónia melanocárpa*, брусники *Vaccínium vitis-idaéa*, черники *Vaccínium myrtillus*, малины *Rúbus idáeus*, вишни *Prúnus subg. cérasus*, черной смородины *Ríbes nígrum*

Н. В. Макарова, Н. Б. Еремеева\*, Д. Ф. Игнатова

\*Самарский государственный технический университет, г. Самара, Россия;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9632-6296>, e-mail: [rvmnatasha@rambler.ru](mailto:rvmnatasha@rambler.ru)

Информация о статье

Реферат

Поступила в редакцию 18.03.2019; получена после доработки 24.06.2019

Ключевые слова:

черноплодная рябина *Arónia melanocárpa*, брусника *Vaccínium vitis-idaéa*, черника *Vaccínium myrtillus*, малина *Rúbus idáeus*, вишня *Prúnus subg. cérasus*, черная смородина *Ríbes nígrum*, антиоксиданты, экстракция

Пищевые продукты, богатые антиоксидантами и обладающие антиоксидантной активностью, снижают риск многих заболеваний. Для решения актуальной задачи создания оптимальной технологии извлечения комплекса веществ с антиоксидантным действием из широко распространенных на территории РФ фруктов (черноплодной рябины *Arónia melanocárpa*, брусники *Vaccínium vitis-idaéa*, черники *Vaccínium myrtillus*, малины *Rúbus idáeus*, вишни *Prúnus subg. cérasus*, черной смородины *Ríbes nígrum*) проведено сравнительное исследование влияния ультразвукового воздействия и методов традиционного настаивания и микроволнового облучения на общее содержание фенолов, флавоноидов, антоцианов; определены антирадикальное действие, восстанавливающая сила, антиоксидантная активность экстрактов из фруктов. В процессе исследования использовались спектрофотометрические методы выявления общего содержания фенолов, флавоноидов, антоцианов, антирадикальной активности (при взаимодействии со свободным радикалом 2,2-дифенил-1-пикрилгидразилом), восстанавливающей силы (с помощью реактива FRAP), антиоксидантной активности (в системе "линолевая кислота"). Применение ультразвуковой обработки позволяет получить более высокие содержания фенолов, флавоноидов, антоцианов в полученных экстрактах фруктов, а также значения антирадикальной активности, восстанавливающей силы, антиокислительного действия. Аналогичное влияние оказывает и микроволновое излучение, однако показатели микроволновых экстрактов фруктов ниже, чем ультразвуковых экстрактов. Следует отметить, что антоцианы являются наиболее чувствительным к внешним воздействиям классом соединений; при ультразвуковой обработке они извлекаются и сохраняются в наибольшей степени. На основании проведенных исследований можно рекомендовать ультразвуковую обработку как метод интенсификации процесса экстрагирования (при тех же параметрах температуры и времени), что позволит получать экстракты с более высоким содержанием нутрицевтических веществ и использовать их в качестве компонентов многих биологически активных добавок, а также косметических средств, обладающих высоким уровнем антиоксидантной активности.

Для цитирования

Макарова Н. В. и др. Влияние технологии экстракции на антиоксидантную активность черноплодной рябины *Arónia melanocárpa*, брусники *Vaccínium vitis-idaéa*, черники *Vaccínium myrtillus*, малины *Rúbus idáeus*, вишни *Prúnus subg. cérasus*, черной смородины *Ríbes nígrum*. Вестник МГТУ. 2019. Т. 22, № 3. С. x–x. DOI: 10.21443/1560-9278-2019-22-3-322-330.

## Effect of extraction technology on antioxidant activity of black chokeberry *Aronia melanocarpa*, cranberries *Vaccinium vitis-idaea*, blueberries *Vaccinium myrtillus*, raspberries *Rubus idaeus*, cherries *Prunus subg. cérasus*, black currant *Ribes nigrum*

Nadezhda V. Makarova, Natalia B. Ereemeeva\*, Dinara F. Ignatova

\*Samara State Technical University, Samara, Russia;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9632-6296>, e-mail: [rvmnatasha@rambler.ru](mailto:rvmnatasha@rambler.ru)

Article info

Abstract

Received 18.03.2019; received in revised 24.06.2019

Key words:

chokeberry *Aronia melanocarpa*, cowberry *Vaccinium vitis-idaea*, blueberry *Vaccinium myrtillus*, raspberry *Rubus idaeus*, cherry *Prunus subg. cérasus*, black currant *Ribes nigrum*, antioxidants, extraction

Foods rich in antioxidants and antioxidant activity reduce the risk of many diseases. To solve the urgent task of creating an optimal technology for extracting a complex of substances with antioxidant action from fruits widely distributed in the Russian Federation (chokeberry *Arónia melanocárpa*, cowberry *Vaccínium vitis-idaéa*, bilberry *Vaccínium myrtillus*, raspberry *Rúbus idáeus*, cherries *Prúnus subg. cérasus*, black currant *Ríbes nígrum*) a comparative study of influencing ultrasonic exposure and methods of traditional infusion and microwave irradiation on the total content of phenols, flavonoids, anthocyanins. The antiradical effect, restoring strength, and antioxidant activity of fruit extracts have been determined as well. Spectrophotometric methods have been used to detect the total content of phenols, flavonoids, anthocyanins, antiradical activity (when interacting with 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl free radical), restoring power (using the FRAP reagent), antioxidant activity (in the "linoleic acid" system). The use of ultrasonic treatment allows obtain higher contents of phenols, flavonoids, anthocyanins in the fruit extracts, as well as the values of antiradical activity, restoring power, antioxidant effect. Microwave radiation has a similar effect, although the performance of microwave fruit extracts is lower than that of ultrasonic extracts. It is interesting to note that anthocyanins as the most sensitive to external influences class of compounds are extracted during ultrasonic treatment and stored to the greatest extent. Based on the studies, ultrasonic treatment can be recommended as a method of intensifying the extraction process (at the same temperature and time parameters), which will allow extracts with a higher content of nutraceuticals to be obtained and use them as components of many biologically active additives, as well as cosmetics with high level of antioxidant activity.

For citation

Makarova, N. V. et al. Effect of extraction technology on antioxidant activity of black chokeberry *Aronia melanocarpa*, cranberries *Vaccinium vitis-idaea*, blueberries *Vaccinium myrtillus*, raspberries *Rubus idaeus*, cherries *Prunus subg. cérasus*, black currant *Ribes nigrum*. *Vestnik of MSTU*, 22(3), pp. x–x. (In Russ.) DOI: 10.21443/1560-9278-2019-22-3-322-330.

## Введение

В настоящее время актуальной задачей развития системы рационального питания является создание оптимальной технологии извлечения комплекса веществ с антиоксидантным действием из широко распространенных на территории РФ ягод и фруктов. Результаты эпидемиологических исследований свидетельствуют о том, что пищевые продукты, богатые антиоксидантами и обладающие антиоксидантной активностью, снижают риск заболеваний, в том числе некоторых видов рака (*Shashirekha et al., 2015*). Многие продукты (например, томаты, оливковое масло, брокколи, лук, ягоды, мед, чай, виноград, алое-вера, розмарин, базилик, перец чили, морковь, куркума, гранат) содержат компоненты, участвующие в канцерогенезе, ингибируют видоизменение клеток и метастазирование (в основном это действие обусловлено наличием таких соединений, как полифенолы).

В процессе изучения указанной проблемы (*Adams et al., 2011; Yang et al., 2019*) установлено, что порошок черники препятствует росту метастаз на линии клеток MDA-MB-231 мышей, а ацилированные антоцианы из черники оказывают противораковый эффект на линии клеток H22 (*Liu et al., 2016*).

В обзоре (*Baby et al., 2018*) суммированы данные по исследованиям *in vitro* и *in vivo* взаимосвязи между антиканцерогенными и антиоксидантными свойствами; в обзоре (*de Castro et al., 2015*) представлены результаты исследований положительного влияния фитохимических соединений ягод в профилактике оксидативного стресса и карциногенеза.

Целью исследования (*Diaconeasa et al., 2015*) является оценка антиканцерогенного потенциала фракций сока черники и голубики, богатых антоцианами, на линии клеток рака; была также изучена антиоксидантная активность соков по методам DPPH и ORAC. По мнению авторов, антиканцерогенные свойства антоцианиновых фракций напрямую взаимосвязаны с содержанием биоактивных молекул, антоцианов и появлением антиоксидантной активности.

Фенольные соединения фруктов обладают, кроме антиоксидантных, также и антимикробными, пребиотическими, противовоспалительными и другими свойствами (*Chang et al., 2019*). Но основным положительным свойством фитохимических соединений ягод является их способность предотвращать многие заболевания, в том числе и сердечно-сосудистые (*Yang et al., 2019*). Экстракт аронии оказывает более существенный противовоспалительный эффект по сравнению с экстрактами черной смородины и шиповника (*Strugala et al., 2016*).

Исландские ученые (*Adams et al., 2010*) изучили хемотерапевтическую активность экстракта голубики на линии клеток рака груди. Полученные данные свидетельствуют об ингибировании роста и метастатического потенциала на линии клеток MDA-MB-231 по пути PI3K/AKT/NF NFKB.

В ходе экспериментальных исследований на лабораторных животных установлено (*Rocha et al., 2019*), что черника и клюква могут снижать уровень глюкозы в крови, тем самым способствуя контролю развития диабета 2-го типа.

Для сохранения свойств ягоды черники во время хранения на первоначальном уровне предлагается (*Chiabrando et al., 2015*) использовать покрытие хитозаном или альгинатом натрия. При этом остаются неизменными показатели содержания антоцианов, фенолов, антиоксидантной активности.

Целью исследования словацких ученых (*Vollmannova et al., 2014*) было определение содержания Cu, Zn, Cd и Pb, общих полифенолов, антиоксидантной активности шести сортов клюквы и шести сортов черники, собранных в различных районах Словакии (как культурных, так и диких); при этом установлено, что более положительными свойствами обладают культурные сорта.

Среди ряда ягод, исследованных на наличие антиоксидантной активности *in vitro*, именно арония является лучшим антиоксидантом (*Denev et al., 2012*). В работе (*Matziouridou et al., 2016*) предлагается использовать клюкву как средство против образования атеросклеротических бляшек.

Экспериментальные данные, полученные в ходе изучения взаимосвязи антиоксидантных свойств и способности транспортировать эритроциты и липиды сквозь мембраны клетки, доказали эффективность черной смородины как биологического субстрата (*Cyboran et al., 2014*).

Итальянские ученые исследовали 43 образца сладкой вишни из региона Campania на наличие антиоксидантных метаболитов с энзиматической активностью (*Mirto et al., 2018*).

Из малины был выделен (*Yu et al., 2015*) новый водорастворимый кислый полисахарид RCP-II, являющийся композитом галактуроновой кислоты и рамнозы, арабинозы, ксилозы, глюкозы, галактозы. RCP-II обладает антиоксидантными свойствами и неэнзиматической активностью по ингибированию гликирования.

Большое количество работ посвящено поиску оптимальной технологии экстрагирования для получения биологически активных компонентов (*Soquetta et al., 2018*). При этом в качестве методов интенсификации процессов экстрагирования может быть использовано как микроволновое (*Vieira et al., 2017*), так и ультразвуковое (*Khoigani et al., 2017*) облучение.

Таким образом, ягоды, косточковые являются перспективным сырьем для получения антиоксидантов, которые также интересны в качестве потенциальных антиканцерогенных веществ. При

этом решающую роль в уровне антиоксидантной активности экстрактов ягод играют методы и условия экстракции.

Целью настоящего исследования является определение влияния технологии экстракции на антиоксидантную активность экстрактов из черноплодной рябины, брусники, черники, малины, вишни, черной смородины. В процессе экспериментальной работы решались следующие задачи: 1) проведение сравнительного анализа показателей общего содержания фенолов, флавоноидов, антирадикальной активности по улавливанию свободного радикала 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила, восстанавливающей силы, антиоксидантной активности, полученных при использовании трех технологий экстрагирования (настаивания, микроволнового облучения, ультразвуковой обработки); 2) выбор наиболее оптимальной технологии экстрагирования.

## Материалы и методы

*Исходные фрукты.* В качестве образцов ягод и косточковых использовали сортосмесь фруктов из коллекции Научно-исследовательского института садоводства и лекарственных растений "Жигулевские сады" (г. Самара) урожая 2018 г. Для экстракции исходное сырье (ИС) было измельчено до размера 1,0–2,0 мм.

*Метод мацерации для приготовления экстракта фруктов.* Навеску измельченных фруктов 1 г (для экстракта концентрацией 0,1 г/см<sup>3</sup>) помещали в колбу с притертой пробкой, добавляли 10 мл 98%-го этилового спирта, разбавленного водой в соотношении 1:1, выдерживали в термостате при 37 °С в течение 2 ч при непрерывном перемешивании; далее отделяли прозрачный слой экстракта посредством центрифугирования в течение 15 мин при скорости 3 000 об/мин.

*Метод приготовления экстракта фруктов с использованием микроволнового излучения.* Навеску измельченных фруктов 1 г (для экстракта концентрацией 0,1 г/см<sup>3</sup>) помещали в колбу с притертой пробкой, добавляли 10 мл 98%-го этилового спирта, разбавленного водой в соотношении 1:1, обрабатывали микроволновым излучением мощностью 800 Вт в течение 1 мин; далее отделяли прозрачный слой экстракта посредством центрифугирования в течение 15 мин при скорости 3 000 об/мин.

*Метод приготовления экстракта фруктов с использованием ультразвукового излучения.* Навеску измельченных фруктов 1 г (для экстракта концентрацией 0,1 г/см<sup>3</sup>) помещали в колбу с притертой пробкой, добавляли 10 мл 98%-го этилового спирта, разбавленного водой в соотношении 1:1, обрабатывали ультразвуковым излучением мощностью 37 кГц 90 мин при 37 °С; далее отделяли прозрачный слой экстракта посредством центрифугирования в течение 15 мин при скорости 3 000 об/мин.

*Метод определения общего содержания фенольных веществ.* Определение фенольных веществ основано на их способности связываться с белковыми веществами, осаждаться солями металлов, окисляться и давать цветные реакции. Исследования проводились по методу, указанному в работе (Cheng et al., 2013). Калькуляцию фенольных соединений осуществляли по калибровочной кривой (мг галловой кислоты на 100 г фруктов, мг ГК/100 г).

*Метод определения общего содержания флавоноидов.* Содержание флавоноидов определяли по методу (Cheng et al., 2013) с модификацией для экстракта фруктов. Калькуляцию флавоноидов проводили по калибровочной кривой (мг катехина на 100 г фруктов, мг К/100 г).

*Метод определения общего содержания антоцианов.* Содержание антоцианов в экстрактах фруктов устанавливали спектрофотометрическим методом в экстракте функционального продукта с буферными растворами (показатели pH составили 1,0 и 4,5) (Cheng et al., 2013). Калькуляцию антоцианов проводили по формуле, приведенной в статье (Cheng et al., 2013) (мг цианидин-3-гликозида на 100 г ягод, мг ЦГ/100 г).

*Метод определения радикалудерживающей способности (DPPH-метод).* Одним из способов оценки антиоксидантной активности является колориметрия свободных радикалов. Данный метод основан на реакции стабильного синтетического радикала DPPH (2,2-дифенил-1-пикрилгидразила), растворенного в этаноле, с образцом антиоксиданта, содержащегося в экстракте (Cheng et al., 2013). Для анализа антиоксидантной активности применяется параметр  $E_{C50}$  – концентрация экстракта, при которой происходит 50%-е ингибирование радикала DPPH антиоксидантом экстракта. Торможение реакций окислительного распада происходит тем быстрее и антиоксидантная активность образцов тем выше, чем ниже показатель  $E_{C50}$ .

*Метод определения железосвязывающей активности экстрактов (FRAP-метод).* Исследование восстанавливающей силы проводили по методу (Cheng et al., 2013), модифицированному для экстракта фруктов. Железосвязывающую активность определяли с помощью калибровочной кривой (ммоль Fe<sup>2+</sup>/1 кг фруктов).

*Метод оценки антиоксидантных свойств при использовании модельной системы с линолевой кислотой.* Данный метод основан на регистрации перокисления линолевой кислоты, которое определяли

по реакции веществ, взаимодействующих с радикалом аммония и хлоридом железа (II) при 500 нм и образующихся в процессе нагревания смеси из экстракта фруктов, линолевой кислоты, фосфотного буфера и аддитива Tween-20 при 40 °С в течение 120 ч (*Cheng et al., 2013*). Результаты рассчитывали в процентах ингибирования процессов окисления линолевой кислоты.

Опыты проводили в трехкратной повторяемости. Статистическую обработку данных анализа осуществляли с помощью программы MS Excel 2007.

### Результаты и обсуждение

Фенольные соединения являются одним из самых известных классов химических веществ растительных систем. В ходе медицинских исследований выявлена биологическая активность представителей этого класса, а также их способность быть профилактическим средством многих заболеваний (*Li et al., 2014*). Именно по этой причине установление содержания полифенолов играет огромную роль в изучении антиоксидантной активности, так как, по данным многих исследований, эти показатели имеют прямую зависимость. Результаты экспериментального определения общего содержания фенолов в экстрактах фруктов, полученных по трем различным технологиям (рис. 1), позволяют разделить изученные объекты на две группы, характеризующиеся: 1) очень высокими показателями содержания фенолов (черноплодная рябина, брусника); 2) более низкими (малина, вишня, черная смородина). Несомненное преимущество при выборе технологии изготовления экстрактов имеет метод ультразвукового облучения. В порядке убывания показателя общего содержания фенолов все ультразвуковые экстракты можно распределить в такой последовательности: брусника (1378 мг ГК/100 г ИС), черноплодная рябина (1310 мг ГК/100 г ИС), черная смородина (874 мг ГК/100 г ИС), вишня (858 мг ГК/100 г ИС), черника (821 мг ГК/100 г ИС), малина (730 мг ГК/100 г ИС). При этом метод настаивания является для ряда фруктов более эффективным, чем технология экстрагирования с использованием микроволнового облучения (например, для черноплодной рябины, черники, вишни), тогда как для брусники, малины, черной смородины, наоборот, метод настаивания менее эффективен.

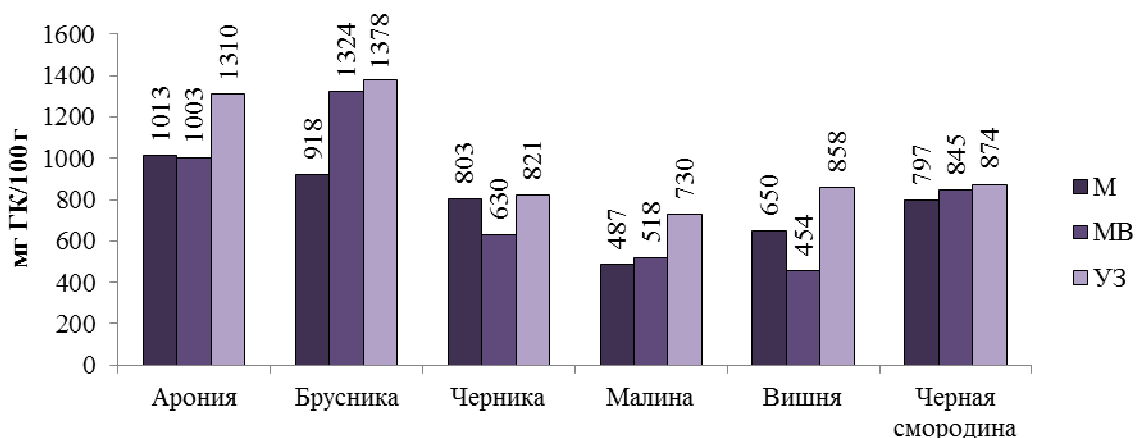


Рис. 1. Результаты определения общего содержания фенолов в экстрактах фруктов, полученных с использованием трех технологий: М – мацерации; УЗ – ультразвуковой обработки; МВ – микроволновой обработки

Fig. 1. The results of determining the total phenol content in fruit extracts obtained using three technologies: M – maceration; UZ – ultrasonic treatment; MB – microwave processing

Флавоноиды являются классом соединений с высокой биологической активностью, а некоторые их представители успешно используются в фармакологии для лечения сердечно-сосудистых заболеваний (*Li et al., 2014*). Определение уровня содержания флавоноидов – основная характеристика растительного объекта как потенциального антиоксиданта. Результаты экспериментального установления общего содержания флавоноидов в экстрактах фруктов, полученных по трем различным технологиям, представлены на рис. 2. Следует отметить тот факт, что содержание флавоноидов в объектах может различаться в 4 раза (например, общее содержание флавоноидов в ультразвуковом экстракте черноплодной рябины составляет 442 мг К/100 г ИС, тогда как в ультразвуковом экстракте малины – 92 мг К/100 г ИС). Ультразвуковые экстракты черноплодной рябины (442 мг К/100 г ИС), черники (274 мг К/100 г ИС), брусники (172 мг К/100 г ИС) имеют высокое содержание флавоноидов, а указанные экстракты малины (92 мг К/100 г ИС), черной смородины (101 мг К/100 г ИС), вишни (147 мг К/100 г ИС) – более низкие значения. Как и в случае фенолов, использование ультразвукового

облучения при экстракции положительно влияет на уровень флавоноидов, лидерство при выборе технологии экстрагирования переходит к методам микроволновой обработки.

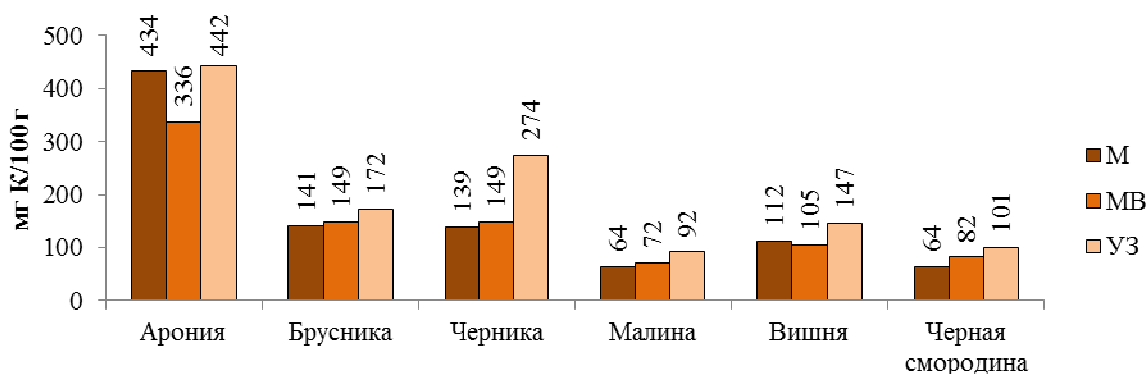


Рис. 2. Результаты определения общего содержания флавоноидов в экстрактах фруктов, полученных с использованием трех технологий: М – мацерации; УЗ – ультразвуковой обработки; МВ – микроволновой обработки

Fig. 2. The results of determining the total content of flavonoids in fruit extracts obtained using three technologies: M – maceration; U3 – ultrasonic treatment; MB – microwave processing

Антоцианы являются классом веществ, определяющих окраску фруктов и оказывающих профилактическое действие при многих заболеваниях; одним из самых перспективных направлений является профилактика рака (*Li et al., 2014*). Антоцианы во фруктах также определяют уровень антиоксидантной активности. Однако они крайне чувствительны к воздействию воздуха, температуры, света и т. д. Исследуемые фрукты имеют окраску от малиновой до фиолетово-вишневой. Результаты экспериментального определения общего содержания антоцианов в экстрактах фруктов, полученные по трем различным технологиям, представлены на рис. 3. При экстрагировании наибольшее количество антоцианов выявлено в ультразвуковом экстракте черноплодной рябины (859,76 мг ЦГ/100 г ИС), тогда как содержание этих веществ во всех других объектах находилось приблизительно на одном уровне и значительно уступало их концентрации в черноплодной рябине. Для получения высокого содержания антоцианов технология экстрагирования с использованием ультразвукового облучения является преимущественной, но все же ее отличие от других технологий не столь велико, как при экстрагировании с целью получения повышенной концентрации фенолов и флавоноидов.

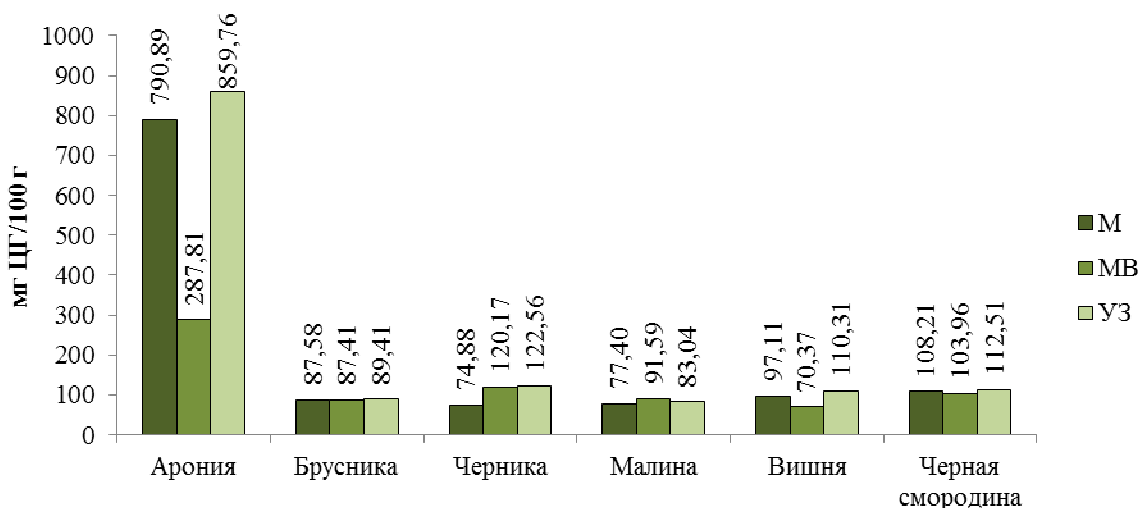


Рис. 3. Результаты определения общего содержания антоцианов в экстрактах фруктов, полученных с использованием трех технологий: М – мацерации; УЗ – ультразвуковой обработки; МВ – микроволновой обработки

Fig. 3. The results of determining the total content of anthocyanins in fruit extracts obtained using three technologies: M – maceration; U3 – ultrasonic treatment; MB – microwave processing

Свободные радикалы – опасный фактор, способствующий разрушению живой клетки или вызывающий ее мутацию (*Li et al., 2014*). Одним из основных средств борьбы со свободными радикалами являются антиоксиданты ("ловушки радикалов"); именно это свойство контролируется при использовании методики определения антирадикальной активности в ходе взаимодействия со свободным радикалом

2,2'-дифенил-1-пикрилгидразилом. Результаты экспериментального определения антирадикальной активности по методу DPPH в экстрактах фруктов, изготовленных с помощью различных технологий, представлены на рис. 4. Несомненными лидерами по данному показателю являются черноплодная рябина (1,2 мг/мл) и черная смородина (1,6 мг/мл), а лучшей технологией – УЗ-экстрагирование. Но при исследовании брусники технология практически не оказала влияние на уровень полученных результатов.

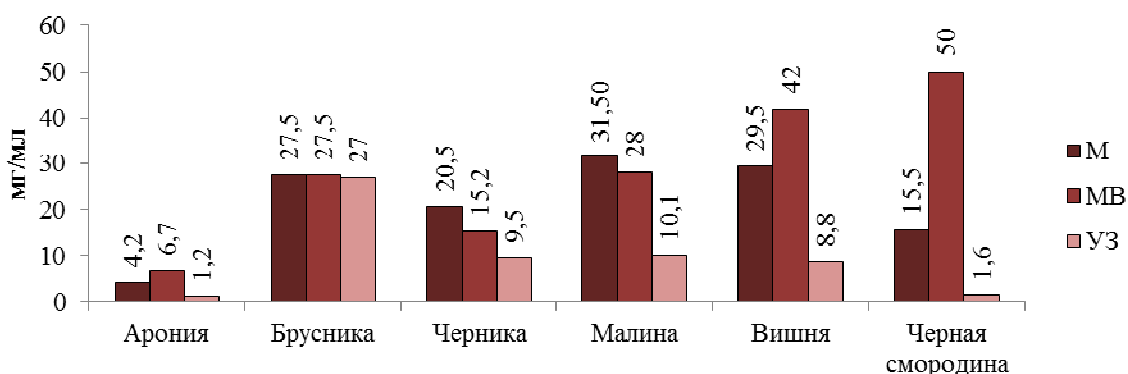


Рис. 4. Результаты определения антирадикальной активности экстрактов фруктов, полученных с использованием трех технологий: М – мацерации; УЗ – ультразвуковой обработки; MB – микроволновой обработки

Fig. 4. The results of determining the antiradical activity of fruit extracts obtained using three technologies: M – maceration; UZ – ultrasonic treatment; MB – microwave processing

Механизм окисления живой клетки в результате окислительного стресса очень сложен (Li et al., 2014). Одним из вариантов окисления и мутации клетки является окисление липидов клетки, которое интенсивно катализируется ионами металлов. Важным свойством антиоксиданта является его способность ингибировать катализирующее действие ионов металлов. В качестве методики оценки такого действия выступает технология определения восстанавливающей силы (FRAP). Результаты экспериментального определения антиоксидантной активности по методу FRAP в экстрактах фруктов, изготовленных с использованием различных технологий, представлены на рис. 5. Следует отметить, что уровни показателей значительно отличаются. Например, высокие значения имеет несомненный лидер – ультразвуковой экстракт черноплодной рябины (20,70 ммоль Fe<sup>2+</sup>/1 кг ИС), низкие – экстракт черной смородины, полученный методом настаивания (6,48 ммоль Fe<sup>2+</sup>/1 кг ИС). Для увеличения показателей восстанавливающей силы использование ультразвукового облучения при экстрагировании также весьма целесообразно.

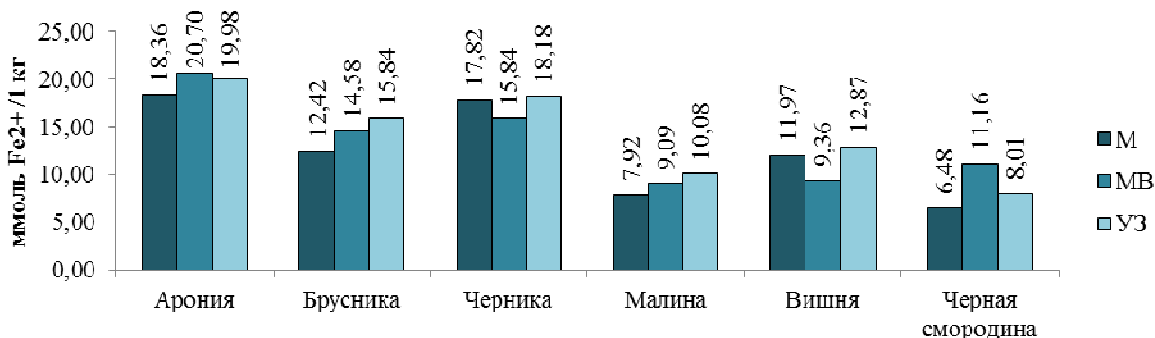


Рис. 5. Результаты определения по методу FRAP антиоксидантной активности экстрактов фруктов, полученных с использованием трех технологий: М – мацерации; УЗ – ультразвуковой обработки; MB – микроволновой обработки

Fig. 5. The results of determining antioxidant activity (the FRAP method) of fruit extracts obtained using three technologies: M – maceration; UZ – ultrasonic treatment; MB – microwave processing

Одной из важнейших функций антиоксидантов является способность предотвращать окисление ненасыщенных жирных кислот (Li et al., 2014). Это свойство имеет практическое использование в производстве пищевых продуктов, содержащих жирные кислоты. В настоящее время весьма активно ведутся поиски натуральных антиоксидантов для жиросодержащих пищевых систем. В качестве методики, характеризующей данную способность, предложен метод с использованием линолевой кислоты. Результаты экспериментального определения антиоксидантной активности с применением линолевой кислоты в экстрактах фруктов, полученных по трем различным технологиям, представлены

на рис. 6. Некоторые экстракты фруктов имеют очень низкие показатели по ингибированию окисления линолевой кислоты: экстракт черники, изготовленный методом настаивания (12,3 %), экстракт малины, полученный с использованием микроволнового облучения (16,6 %). Экстракты черноплодной рябины и вишни, приготовленные с помощью ультразвукового облучения, являются несомненными лидерами (69,9 и 68,3 % соответственно).

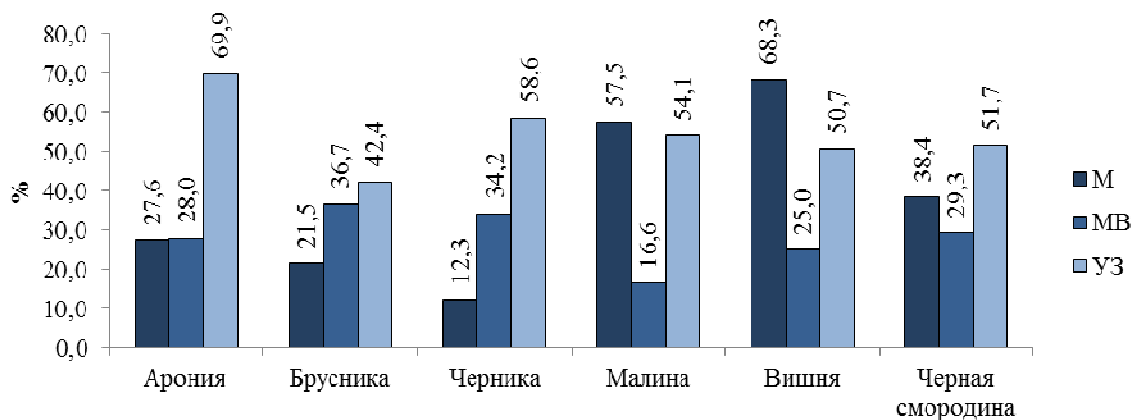


Рис. 6. Результаты определения по методу с использованием линолевой кислоты антиоксидантной активности экстрактов фруктов, полученных по трем технологиям:

М – мацерации; УЗ – ультразвуковой обработки; MB – микроволновой обработки

Fig. 6. The results of the determination using the linoleic acid method antioxidant activity of fruit extracts obtained using three technologies: M – maceration; УЗ – ultrasonic treatment; MB – microwave processing

## Заключение

Сравнительный анализ общего содержания фенолов, флавоноидов, антирадикальной активности по методу DPPH, восстанавливающей силы, антиоксидантной активности экстрактов плодов и ягод, приготовленных по трем технологиям (М, MB, УЗ), показал, что наибольший эффект оказывает ультразвуковой метод, который позволяет увеличить выход активных веществ в получаемых экстрактах до 2,5 раз. Таким образом, установленное в ходе исследования положительное влияние ультразвуковой обработки позволяет рекомендовать ее введение в технологию получения экстрактов с целью увеличения содержания биологически активных веществ.

## References

- Adams, L. S., Kanaya, N., Phung, S., Liu, Z. et al. Whole blueberry powder modulates the growth and metastasis of MDA-MB-231 triple negative breast tumors in nude mice. 2011. *The Journal of Nutrition*, 141(10), pp. 1805–1812. DOI: <https://doi.org/10.3945/jn.111.140178>.
- Adams, L. S., Phung, S., Yee, N., Seeram, N. P. et al. 2010. Blueberry phytochemicals inhibit growth and metastatic potential of MDA-MB-231 breast cancer cells through modulation of the Phosphatidylinositol 3-kinase pathway. *Cancer Research*, 70(9), pp. 3594–3605. DOI: <https://doi.org/10.1158/0008-5472.can-09-3565>.
- Baby, B., Antony, P., Vijayan, R. 2018. Antioxidant and anticancer properties of berries. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(15), pp. 2491–2507. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1329198>.
- Chang, S. K., Alasalvar, C., Shahidi, F. 2019. Superfruits: Phytochemicals, antioxidant efficacies, and health effects – A comprehensive review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(10), pp. 1580–1604. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1422111>.
- Cheng, A., Chen, X., Wang, W., Gong, Z. et al. 2013. Contents of extractable and non-extractable polyphenols in the leaves of blueberry. *Czech Journal of Food Sciences*, 31(3), pp. 275–282. DOI: <https://doi.org/10.17221/272/2012-cjfs>.
- Chiabrando, V., Giacalone, G. 2015. Anthocyanins, phenolics and antioxidant capacity after fresh storage of blueberry treated with edible coatings. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 66(3), pp. 248–253. DOI: <https://doi.org/10.3109/09637486.2014.986075>.
- Cyboran, S., Bonarska-Kujawa, D., Pruchnik, H., Żyłka, R. et al. 2014. Phenolic content and biological activity of extracts of blackcurrant fruit and leaves. *Food Research International*, 65(A), pp. 47–58. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.05.037>.
- de Castro, D., Teodoro, A. J. 2015. Anticancer properties of bioactive compounds of berry fruits – A review. *British Journal of Medicine and Medical Research*, 6(8), pp. 771–794. DOI: <https://doi.org/10.9734/bjmmr/2015/15289>.

- Denev, P. N., Kratchanov, C. G., Ciz, M., Lojek, A. et al. 2012. Bioavailability and antioxidant activity of black chokeberry (*Aronia melanocarpa*) polyphenols: *in vitro* and *in vivo* evidences and possible mechanisms of action: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 11(5), pp. 471–489. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2012.00198.x>.
- Diaconeasa, Z., Leopold, L., Rugină, D., Ayvaz, H. et al. Antiproliferative and antioxidant properties of anthocyanin rich extracts from blueberry and blackcurrant juice. 2015. *International Journal of Molecular Sciences*, 16(2), pp. 2352–2365. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms16022352>.
- Khoigani, S. R., Rajaei, A., Goli, S. A. H. 2017. Optimization of ultrasound-assisted extraction for the maximum quantity and quality of phenolics from *Stachys lavandulifolia*. *Separation Science and Technology*, 52(11), pp. 1815–1825. DOI: <https://doi.org/10.1080/01496395.2017.1299180>.
- Li, A.-N., Li, S., Zhang, Y.-J., Xu, X.-R. et al. 2014. Resources and biological activities of natural polyphenols. *Nutrients*, 6(12), pp. 6020–6047. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu6126020>.
- Liu, W., Chen, J., Li, Q., Sun, A. Inhibitory effects of acylated blueberry anthocyanin on H22 murine tumors. 2016. *Food and Agricultural Immunology*, 27(4), pp. 509–522. DOI: <https://doi.org/10.1080/09540105.2015.1129599>.
- Matziouridou, C., Marungruang, N., Nguyen, T. D., Nyman, M. et al. 2016. Lingonberries reduce atherosclerosis in *ApoE* mice in association with altered gut microbiota composition and improved lipid profile. *Molecular Nutrition & Food Research*, 60(5), pp. 1150–1160. DOI: <https://doi.org/10.1002/mnfr.201500738>.
- Mirto, A., Iannuzzi, F., Carillo, P., Ciarmiello, L. F. et al. 2018. Metabolic characterization and antioxidant activity in sweet cherry (*Prunus avium* L.) Campania accessions: Metabolic characterization of sweet cherry accessions. *Food Chemistry*, 240, pp. 559–566. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.07.162>.
- Rocha, D. M. U. P., Caldas, A. P. S., da Silva, B. P., Hermsdorff, H. H. M. et al. 2019. Effects of blueberry and cranberry consumption on type 2 diabetes glycemic control: A systematic review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(11), pp. 1816–1828. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1430019>.
- Shashirekha, M. N., Mallikarjuna, S. E., Rajarathnam, S. Status of bioactive compounds in foods, with focus on fruits and vegetables. 2015. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(10), pp. 1324–1339. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.692736>.
- Soquetta, M. B., de Marsillac Terra, L., Bastos, C. P. 2018. Green technologies for the extraction of bioactive compounds in fruits and vegetables = Tecnologías verdes para la extracción de compuestos bioactivos en frutas y verduras. *CyTA – Journal of Food*, 16(1), pp. 400–412. <https://doi.org/10.1080/19476337.2017.1411978>.
- Strugała, P., Gładkowski, W., Kucharska, A. Z., Sokół-Łętowska, A. et al. 2016. Antioxidant activity and anti-inflammatory effect of fruit extracts from blackcurrant, chokeberry, hawthorn, and rosehip, and their mixture with linseed oil on a model lipid membrane. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 118(3) Special Iss.: Contaminants in fats and oils, pp. 461–474. DOI: <https://doi.org/10.1002/ejlt.201500001>.
- Vieira, V., Prieto, M. A., Barros, L., Coutinho, J. A. P. et al. 2017. Optimization and comparison of maceration and microwave extraction systems for the production of phenolic compounds from *Juglans regia* L. for the valorization of walnut leaves. *Industrial Crops and Products*, 107, pp. 341–352. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.06.012>.
- Vollmannova, A., Musilova, J., Toth, T., Arvay, J. et al. 2014. Phenolic compounds, antioxidant activity and Cu, Zn, Cd and Pb content in wild and cultivated cranberries and blueberries. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 94(14–15), pp. 1445–1451. DOI: <https://doi.org/10.1080/03067319.2014.974588>.
- Yang, H., Tian, T., Wu, D., Guo, D. et al. 2019. Prevention and treatment effects of edible berries for three deadly diseases: Cardiovascular disease, cancer and diabetes. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(12), pp. 1903–1912. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1432562>.
- Yang, Y.-k., Shen, D.-d., He, P. et al. 2019. Chemically synthesized LYRM03 could inhibit the metastasis of human breast cancer MDA-MB-231 cells *in vitro* and *in vivo*. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, 29(14), pp. 1719–1726. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bmcl.2019.05.027>.
- Yu, Z., Liu, L., Xu, Y., Wang, L., Teng, X. et al. 2015. Characterization and biological activities of a novel polysaccharide isolated from raspberry (*Rubus idaeus* L.) fruits. *Carbohydrate Polymers*, 132, pp. 180–186. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.06.068>.

#### Сведения об авторах

**Макарова Надежда Викторовна** – ул. Молодогвардейская, 244, г. Самара, Россия, 443100; Самарский государственный технический университет, д-р хим. наук, профессор; e-mail: makarovanv1969@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-00112-0085>

**Nadezhda V. Makarova** – 244 Molodogvardeiskaya Str., Samara, Russia, 443100; Samara State Technical University, Dr. Sci. (Chemistry), Professor; e-mail: makarovanv1969@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-00112-0085>



**Еремеева Наталья Борисовна** – ул. Молодогвардейская, 244, г. Самара, Россия, 443100;  
Самарский государственный технический университет, канд. техн. наук; ст. преподаватель;  
e-mail: rmvnatasha@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9632-6296>

**Natalia B. Ereemeeva** – 244 Molodogvardeiskaya Str., Samara, Russia, 443100; Samara State Technical University, Cand. Sci. (Engineering), Senior Lecturer; e-mail: rmvnatasha@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9632-6296>

**Игнатова Динара Фанисовна** – ул. Молодогвардейская, 244, г. Самара, Россия, 443100;  
Самарский государственный технический университет, канд. техн. наук, доцент;  
e-mail: dinara-bakieva@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1478-039X>

**Dinara F. Ignatova** – 244 Molodogvardeiskaya Str., Samara, Russia, 443100; Samara State Technical University, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor; e-mail: dinara-bakieva@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1478-039X>